

Ville Pajunen

# SÄHKÖTYÖT TUNNELEISSA


Opinnäytetyö  
Sähkötekniikan koulutusohjelma

Lokakuu 2012




**MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU**

Mikkeli University of Applied Sciences

		<b>Opinnäytetyön päivämäärä</b>	
<b>Tekijä(t)</b> Ville Pajunen		<b>Koulutusohjelma ja suuntautuminen</b> Sähkövoimatekniikka	
<b>Nimeke</b> Sähkötyöt tunneleissa			
<b>Tiivistelmä</b> <p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli perehtyä sähkötöihin tunneleissa, jota käsitellään ensin yleisesti ja sen jälkeen perehdytään tarkemmin erityisesti metro- ja tieliikennetunneleihin. Työssä selvennetään, minkälaisia sähköasennuksia tunneleissa on ja minkälaisia määräyksiä niissä noudatetaan. Työ toimii ohjeena asennustöiden suunnittelulle ja auttaa myös tarjouslaskentaa hahmottamaan tunnelikohteen asennustöitä.</p> <p>Valitsin tämän aiheen, koska tästä aiheesta on tietoa hyvin niukasti ja tällaisia töitä ei ole aiemmin tehty. Työ on tehty yhteistyössä Helsingin alueen YIT Kiinteistötekniikka Oy:n kanssa, joka pystyi auttamaan minua työn tekemisessä, sillä yritys on tehnyt monia erilaisia maan alle rakennettavia kohteita.</p> <p>Tietoa hain tutustumalla joihinkin aiempiin projekteihin ja niiden sähkötyöselityksiin. Kävin läpi myös olemassa olevia erilaisia liikennetunneleiden ohjeita, joita oli kuitenkin varsin niukasti. Lisäksi haastattelin muutamaa eri projektipäällikköä, joilla on kokemusta tällaisista projekteista.</p> <p>Tunnelityömaa on kohteena haastavampi kuin normaali rakennustyömaa, ja siellä töiden hyvä suunnittelu sekä asennustöiden ennakointi korostuu. Myös työturvallisuuteen on kiinnitettävä erityistä huomiota haastavampien olosuhteiden takia. Tunneleiden sähköasennuksille löytyy niukasti omia erikoismääräyksiä, joten olemassa olevia määräyksiä joudutaan soveltamaan kohteessa vallitseviin olosuhteisiin.</p>			
<b>Asiasanat (avainsanat)</b> Maan alaiset tilat, tunnelit, sähkötyöt, tunnelinrakennus			
<b>Sivumäärä</b> 46	<b>Kieli</b> Suomi	<b>URN</b>	
<b>Huomautus (huomautukset liitteistä)</b>			
<b>Ohjaavan opettajan nimi</b> Arto Kohvakka		<b>Opinnäytetyön toimeksiantaja</b> YIT Kiinteistötekniikka Oy Jari Perälä	

## DESCRIPTION

 <b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b> Mikkeli University of Applied Sciences		<b>Date of the bachelor's thesis</b>	
<b>Author(s)</b> Ville Pajunen		<b>Degree programme and option</b> Electrical Engineering	
<b>Name of the bachelor's thesis</b> Electrical work in tunnels			
<b>Abstract</b> <p>The purpose of this thesis was to focus on electrical work in tunnels. The topic is discussed first on general level and after that it focuses on metro-, and road tunnels. This thesis clarifies what kind of electrical installations tunnels have and what kind of regulations must be followed. Thesis works as guide of planning the electrical installations and helps offer calculation perceive electrical works in tunnels.</p> <p>I came this subject, because there is not much information of this subject and this kind of work has not been made before. This thesis is made in cooperation with Helsinki area YIT Kiinteistötekniikka Oy, which could help me with making for this thesis, because the company has made lots of this kind of projects.</p> <p>I found information by exploring at some previous projects and their electricspecifications. I explored existing guides of traffic tunnels. In addition I interviewed some project managers, who have experience of this kind of projects.</p> <p>Tunnel construction site is more challenging, than normal construction site. There good planning and anticipation of installation work is emphasized. Also it is important to pay extra attention to safety of the construction site, because the conditions are more challenging. There are not much special regulations in tunnels so the existing regulations must be applied.</p>			
<b>Subject headings, (keywords)</b>			
<b>Pages</b> 46	<b>Language</b> Finnish	<b>URN</b>	
<b>Remarks, notes on appendices</b> Underground premises, tunnels, electrical work, building of tunnels			
<b>Tutor</b> Arto Kohvakka		<b>Bachelor's thesis assigned by</b> YIT Kiinteistötekniikka Oy Jari Perälä	

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	1
2	YLEISESTI TUNNELEIDEN RAKENTAMISESTA.....	1
2.1	Olosuhteet .....	2
2.2	Asennustöiden aloitus .....	3
3	SÄHKÖASENNUKSET TUNNELEISSA.....	4
3.1	Määräykset.....	4
3.2	Sähkönjakelu.....	4
3.3	Johtotiet.....	7
3.4	Johdot ja kaapelit .....	11
3.5	Läpiviennit .....	12
3.6	Sähkölaitteet .....	14
3.7	Maadoitus .....	14
3.8	Tarkastukset ja mittaukset .....	14
4	JÄRJESTELMÄT TUNNELEISSA .....	15
4.1	Varavoimajärjestelmä .....	15
4.2	Savunpoistojärjestelmä .....	16
5	TYÖTURVALLISUUS .....	16
5.1	Fysikaaliset vaaratekijät.....	16
5.2	Tapaturmavaarat .....	19
5.3	Ergonomia.....	20
5.4	Kemialliset ja biologiset vaaratekijät.....	21
5.5	Henkinen kuormittuminen .....	21
6	SÄHKÖASENNUKSET METROSSA .....	21
6.1	Työturvallisuus metrossa .....	22
6.2	Sähkönjakelu.....	25
6.3	Johtotiet.....	27
6.4	Sähkölaitteet .....	28
6.5	Maadoitukset.....	28
6.6	LVI-järjestelmät.....	29
6.7	Savunpoisto.....	30
6.8	Maakaapelit.....	31

6.9	Valaistus .....	32
7	SÄHKÖASENNUKSET TIELIIKENNETUNNELEISSA.....	33
7.1	Sähkönjakelu.....	34
7.2	Johtotiet ja kaapelointi .....	34
7.3	Sähkölaitteet .....	36
7.4	Varavoimajärjestelmä .....	37
7.5	Savunpoistojärjestelmä .....	37
7.6	Valaistus .....	38
7.7	Työturvallisuus .....	44
8	YHTEENVETO .....	44
	LÄHTEET .....	46

## **1 JOHDANTO**

Tunneleiden työskentelyohjeen tarkoituksena on toimia ohjeena tunneleiden sähköasennustöiden suunnittelulle, varsinaisille asennustöille ja olla apuna tarjouslaskennalle. Tunneleiden rakentaminen on yleistynyt maan päällisen tilan vähyys takia kaupungeissa tai liikenteen sujuvuuden parantamiseksi tietunneleiden avulla. Maan alle on mahdollista sijoittaa monenlaisia toimintoja, kuten pysäköintiä, liikenneasemia, logistiikkaa, konesaleja, myymälöitä ja pysäköintiluolia mahdollisuuksien ollessa loputtomat.

Maanalaiset projektit ovat pääsääntöisesti kalliimpia toteuttaa johtuen normaalia haastavammista työskentelyolosuhteista ja tunneleissa vaadittavista määräyksistä. Tunneleiden sähköasennuksia koskevia määräyksiä ja ohjeita on melko niukasti, joten niitä joudutaan soveltamaan tunnelin olosuhteisiin, mikä voi olla haastavaa.

Maanalaiset tilat ovat hyvä paikka myös väestönsuojille, joina esimerkiksi tavallista metroasemaa voidaan käyttää rakentamalla aseman rakenteet sellaisiksi, että ne täyttävät väestönsuojaan vaadittavat määräykset.

Hyvä talotekninen suunnittelu ja rakennusautomaatio huolehtivat siitä, että myös maan alla on turvallista ja terveellistä työskennellä. Palo- ja sammutusjärjestelmät, hätäpoistumistiet ja muut turvallisuuden vaikuttavat järjestelmät on tehtävä huolellisesti.

Työ käsittelee myös metro- ja tietunneleita, joiden avulla tutustutaan tarkemmin tunneleiden sähköasennuksiin. Työ kerää erilaisia määräyksiä sekä ohjeistuksia tunneleiden sähköasennuksille ja käsittelee eri asennustapoja tunneleissa ja niiden yleisempiä ongelmia.

## **2 YLEISESTI TUNNELEIDEN RAKENTAMISESTA**

Tunneleiden rakennustapoja on monenlaisia, mutta yleensä tunneleita rakennetaan Suomessa louhimalla, eli poraamalla ja räjäyttämällä (kuva 1). Kallion pinnat

lujitetaan kalliopulteilla ja ruiskubetonoinnilla sekä teräsrakenteilla. Muita rakennustapoja on esimerkiksi kaivaa maa auki ja valaa sinne tunneli. [1.]



**KUVA 1. Louhittu kalliotunneli**

## **2.1 Olosuhteet**

Työskentelyolosuhteet tunneleissa ovat erilaiset kuin normaalilla rakennustyömaalla. Yleensä kävelyetäisyydet ovat pitkiä, tunneleissa on pimeää ja kosteaa, tavarantoimitus on hankalaa ja puhelimet kuuluvat huonosti. Näihin olosuhteisiin tulee osata kiinnittää erityistä huomiota projektin aikana hyvissä ajoin jo erityisesti tarjouslaskennassa.

Tunneleissa voi mennä yllättävän paljon aikaa kulkemiseen, johon kannattaa kiinnittää huomiota töiden suunnittelussa. Kulkemista helpottamaan voidaan työmaalle hankkia esimerkiksi polkupyöriä. Pitkät etäisyydet voidaan ottaa huomioon tarjouslaskennassa laskemalla asentajalle päivän aikana tulevat kävelymatkat esim. 10min x 2/päivä, mikä käsittää matkan työpisteeltä sosiaalityötiloihin.

Materiaalin kuljetuksessa tunnelityömaalle täytyy ottaa huomioon, että yleensä tunneleissa oleva varastotila on hyvin rajallinen, joten tavaraa täytyy tilata harkiten pienemmissä erissä työmaalle, eikä suurta erää, joka vie varastotilaa ja jää likaantumaan varastoon. Huomioon täytyy ottaa myös, että työmaalle ei välttämättä pääse tuomaan tavaraa joka päivä, jos ajotunnelissa on sellaisia rakennustöitä, jotka estävät tavaran tuonnin. Nämä päivät tulisikin olla mahdollisimman ajoissa selvillä.

Tavaran vastaanottamisesta ja sijoittamisesta työmaalle sovitaan ja kerrotaan työmaasuunnitelmassa. Tällä pyritään välttämään tavaroiden joutumista eri paikkoihin, eikä niiden etsimiseen kuluisi paljon aikaa. Kuljetusreittien riittävyys asennuspaikalle asti täytyy myös tarkistaa, sillä jos ne eivät ole riittävät, täytyy esim. pääkeskukset toimittaa tarvittavissa osissa.

## **2.2 Asennustöiden aloitus**

Työmaalla olisi hyvä olla alusta alkaen sellaisia asentajia, joilla on kokemusta tämänäyttötyyppisistä projekteista ja heillä tulisi olla käytössään mahdollisimman hyvät työkalut asennustöiden sujuvuuden parantamiseksi. Monesti työmaalle tarvitaan auto tavaran viemiseen ja käytännön asennustöitä helpottamaan.

Työmaalla tulisi olla rakennusalan työehtosopimuksen tasomitoituksen sekä SFS-standardin tilamitoituksen täyttävät kalustetut henkilöstötilat, joiden mitoitus tulee olla suhteutettu työaikataulun perustana oleviin henkilömääriin.

Vastuu työmaan yleisvalaistuksen järjestämisestä on pääurakoitsijalla. Jokaisen urakoitsijan kuuluu kuitenkin yleensä järjestää itse tarvitsemansa oma kohdevalaistus. Jokainen työntekijä tarvitsee oman valaisimen, ja kohdevalaisimia tarvitaan myös riittävän valaisinvoimakkuuden saamiseksi asennuspaikalle. Asentajilla tulisi olla oma otsalamppu, jotta molemmat kädet säilyisivät vapaana asennustöitä varten.

Telineiden ja nostimien kuljetus niiden asennuspaikalle tulee suunnitella hyvissä ajoin, jotta voidaan varmistua niiden saamisesta asennuspaikalle asti. Telineiden saaminen tunnelityömaalle voi joskus olla hankalaa huonojen kulkureittien takia.



Henkilönostimina tulisi mahdollisuuksien mukaan käyttää akkukäyttöisiä nostimia. Yhteistyötä muiden urakoitsijoiden kanssa pitää tehdä, jotta voitaisiin sopia esimerkiksi telineiden sijainnista ja yhteisestä käytöstä. Näistä asioista sovitaan risteyspalavereissa tai urakoitsijakokouksissa.

Tunneleihin tulee tarvittava määrä työmaakeskuksia, joiden syötöt ripustetaan roikkumaan tunnelin seiniin tai kattoon. Maahan niitä ei tule koskaan jättää johtojen rikkoontumisvaaran takia. Työmaasähköllä toimiva ilmastointi ja yleisvalaistus on oltava käytössä ennen työskentelyn aloittamista.

### **3 SÄHKÖASENNUKSET TUNNELEISSA**

#### **3.1 Määräykset**

Tunneleiden sähkönjakeluverkot rakennetaan pääasiassa tunneleiden valaistuksen, ilmastoinnin, pumppaamoiden, savunpoiston, teleautomaattikalaitteiden sekä turva-, ja ohjausjärjestelmien sähkönsyöttöä varten.

Tunneleiden sähköasennuksissa noudatetaan yleisiä määräyksiä, joita sovelletaan tunneleissa vallitseviin olosuhteisiin [5]:

- SFS 6000, Pienjännitesähköasennukset
- SFS 6001, Suurjännitesähköasennukset
- SFS 6002, Sähkötyöturvallisuus
- Suomen Rakentamismääräyskokoelma E1
- ST-kortit.

Asennukset tehdään tapauskohtaisesti tilassa vallitsevien olosuhteiden mukaan. Maan kosteutta vastaan eristämätön tunneli katsotaan märäksi tilaksi ja muut tilat ovat kosteita tiloja. Tunneleissa on yleensä myös lämmitettyjä kuivia tiloja. [5.]

#### **3.2 Sähkönjakelu**

Sähkönjakelutapa valitaan tapauskohtaisesti, mihin vaikuttavat mm. tunnelin tyyppi, pituus jne. Tunneleissa voidaan käyttää niin keskijännitejakelua kuin

pienjännitejakeluakin. Muuntamot sijoitetaan yleensä tunneliin rakennettuun tilaan tai tunnelin välittömään läheisyyteen. Sähkönjakelun varmuutta voidaan parantaa asentamalla tunnelin sähkönsyötöt tunnelin eri suunnista, varavoimalla ja UPS:lla.

Yleensä tunneleissa suurin sallittu jakelujännite on 20 KV, ja suurimpana sallittuna käyttöjännitteenä on 1000 V. Kuitenkin kiinteiden laitteiden esim. pumppaamoiden käyttöjännitteenä sallitaan 6000 V. Näitä suurempia jännitteitä saadaan käyttää vain Turvatekniikan keskuksen erityisluvalla, jos se ei aiheuta vaaraa henkilöille tai laitteistoille. [5.]

Yleensä tunneleiden jakelujärjestelmät pyritään rakentamaan siten, että niiden laitteiden sähkönsyöttö tuodaan kahta eri reittiä pitkin, jotka ovat henkilöturvallisuuden kannalta tärkeitä. Tällaisia laitteita ovat esimerkiksi erilaiset tuulettimet, pumput, muuntajat jne. [5.]

Muuntamot on sijoitettava vähintään 25 m:n etäisyydelle kuiluista, ruokapaikoista tai vastaavista kohteista ja 50 m:n etäisyydelle räjähdystarvikevarastoista tai palavan aineen varastosta tms. Kaikki etäisyydet mitataan kulkureittiä pitkin. [5.]

Muuntamot ja jakokeskukset tulee sijoittaa turvalliseen paikkaan riippuen tunnelin tyypistä. Esimerkiksi liikennetunneleissa ne on sijoitettava niin, että ne ovat mahdollisimman turvassa liikenteen aiheuttamilta vahingoilta. Sähkötilat on myös varustettava kiinteällä valaistuksella [5.]

## Keskukset

Tunneleihin tulevia pääkeskuksia ja kojeistoja varten tehdään yleensä lämmitetyt sähkötilat, joihin keskukset asennetaan (kuva 2). Haasteena on tuoda isot keskukset asennuskohteeseen, jos kuljetusreitit ovat ahtaat tai työmaan takia muuten huonot.



**KUVA 2. Pääkeskushuone**

Keskuksen tullessa tunneliin täytyy se valita sellaiseksi että se kestää niissä vallitsevat olosuhteet, kuten korkean pakkasen, kosteuden ja likaisen ilman.



**KUVA 3. Keskus tunnelissa**

Keskukset on suojattava rakennusaikana syntyvältä pölyltä ja lialta, ja ne on puhdistettava johtojen liittämistä mahdollisesti syntyneistä eriste- ja johdinjätteistä sekä rakennuspölystä.

### **3.3 Johtotiet**

#### **Kaapelihyllyt**

Kaapelihyllynä sekä asennustarvikkeina tulisi käyttää tunnelin märissä ja kosteissa olosuhteissa korroosionkestävää kuumasinkittyä materiaalia. Tunnelin lämmitetyissä ja kuivissa tiloissa voidaan käyttää sähkösinkittyä hyllyä. Yleensä alakattojen yläpuolella, teknisissä tiloissa ja nousukuiluissa kaapelihyllytyyppinä käytetään teräksisiä pienahyllyjä. Julkisissa tiloissa tai vastaavissa näkyviin jäävissä hyllyosuuksissa käytetään levyhyllyä sekä sisäpuolisia kannakkeita ja huomaamattomia jatkoksia.

Hyllyjen kannakoinnin määrittelee asennuspaikka ja siellä vallitsevat olosuhteet. Jos tunnelissa on esimerkiksi liikennettä, tulee kannakoinnin olla normaalia tukevampi. Yleensä rakennusurakoitsija kiinnittää rakenteeseen, esim. kallioon, johtohyllyjen kannakoinnissa käytettävät kierretangot. Kannakkeiden asennusvälin määrittelee hyllyvalmistaja. Hyllyn kannake tulee olla aina mahdollisimman lähellä hyllyn suunnanvaihtokohtaa ja tasokorkeuden muuttuessa saa kannakkeen etäisyys taitoksesta olla enintään yhden metrin.

Hyllyjen asennus suoritetaan siten, ettei taipuma kannatusvälillä ylitä arvoa 1:100 alakattojen ylä-puolella eikä arvoa 1:200 näkyviin jäävissä paikoissa. Pitkien kaapelihyllyosuuksien päihin ja tarvittaessa välillekin on jätettävä riittävät lämpölaajennusvarat valmistajan ohjeiden mukaisesti.

Yleensä näkyville jäävät pystyhyllyt suojataan 1,5 m:n korkeuteen potkupelleillä. Potkupeltejä ei asenneta sähkö- ja tietojärjestelmätiloihin. Pystyhyllyjen potkupeltien tulee olla ruuvikiinnitteisiä ja hyllyjen kanssa samaa materiaalia korroosion vuoksi. Kulkuteiden poikki alle 2200 mm:n korkeuteen asennettavien kaapelihyllyjen reunaan liimataan keltamustat huomioteipit kulkuteiden leveydelle.

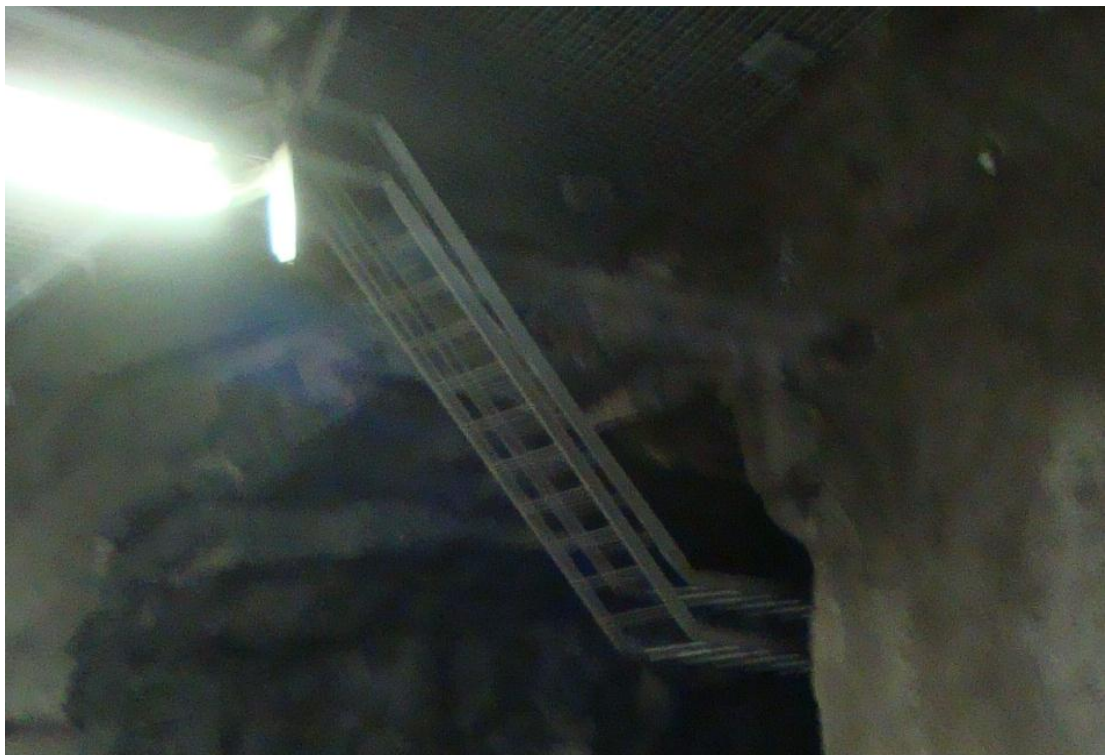
Jos hyllyt asennetaan kalliopintaan, on huomioitava että pinta, johon hyllyt asennetaan, ei ole suora. Näin ollen hyllyt asennetaan kallion pintaa mukaillen. Tässä täytyy kuitenkin käyttää tervettä järkeä, kuinka tiheästi hyllyn korkoa muutetaan ja nivelliitoksia käytetään. Kuvan 4 asennuksessa on mielestäni vähän liioiteltu.





**KUVA 4. Kaapelihyllyn huono asennustapa**

Hyllyn korkoa joudutaan siis muuttamaan tunnelin mallin mukaan, mutta turhia nivelliitoksia tulee välttää.



**KUVA 5. Kaapelihyllyjen hyvä asennus**

### **Palonkestävät johtotiet**

Palonkestävien johtoteiden rakentamisessa on otettava huomioon, että niiden kiinnitys ja tuenta on tehtävä siten, että rakenteet kestävät palotilanteen rasitukset. Myös johtoteiden sijoittelussa tulee huomioida, että palotilanteessa muita rakenteita ei pääsisi tippumaan niiden päälle, minkä takia palonkestävät johtotiet tulisi asentaa muiden asennuksien yläpuolelle.

### **Putkitus ja rasiointi**

Asennusputkena on käytettävä riittävällä sinkityksellä tai muulla tavalla korroosiolta suojattua teräs- tai alumiiniputkea. Taipuisaa panssariputkea ei saa käyttää. Johdon suojaamiseen voidaan käyttää myös erillistä riittävästi korroosiolta suojattua muototerästä tms. On myös huolehdittava, että mihinkään johdon suojauksiin ei pääse kertymään vettä. [5.]

Ruiskubetonoiduissa rakenteissa yksittäisille pisteille tehtävät kaapeloinnit voidaan toteuttaa ruiskubetonoinnin alle asennettavilla putkituksilla. Tiloissa, joihin tulee alakatot, putkitukset ja haaroitukset tehdään yleensä katon välitilassa. Jakorasiat asennetaan helposti irrotettavien kattolevyjen kohdalle. Putkitukset on kiinnitettävä huolellisesti rakenteisiin ja rasioiden kiinnitysalustoihin.

Putket ja rasiat asennetaan kosteussulun ja lämmöneristyksen sisäpuolelle siten, ettei höyrysulku rikkoudu. Kylmän ja lämpimän tilan välillä olevan putken sisään laitetaan sähkökittiä ilmankierron estämiseksi. Galvaanisen korroosiovaaran takia metallirakenteiset putket eivät saa joutua kosteissa tiloissa yhteyteen toisen metallin kanssa.

Lattiaputkitukset asennetaan riittävän syvään lopullisesta betonin pinnasta, etteivät lattiaan tehtävät kiinnitykset tai rei'itykset ulotu putkiin. Tarvittaessa putkitus voidaan tehdä kokonaan valun alle.

### 3.4 Johdot ja kaapelit

Maanalaisissa tunneleissa saa käyttää yleensä vain märkään tilaan sallittuja johtolajeja. Johtojen ja kaapeleiden rakenteen ja sijainnin on oltava sellainen, että se soveltuu tunneleissa oleviin ympäristön rasituksiin, kosteuteen, korroosioon jne. Paremman paloturvallisuuden kannalta olisi suositeltavaa käyttää HF-kaapeleita. Aina tämä ei kuitenkaan onnistu, sillä kaikkia kaapeleita ei ole saatavana halogeenivapaana. Maadoitusjohtimena tai erillisenä suojajohtimena ei saa käyttää alumiinia. [5.]

Pystykuiluissa, poratussa reiässä ja aina yli 1000 V:n jännitteellä on käytettävä mekaanisella tai sähkömekaanisella suojauksella varustettuja kaapeleita. Yli 1000V:n kaapelin kanssa samaan reikään, kaapelikanavaan, eikä samalle kaapelihyllylle saa sijoittaa muita kaapeleita. [5.]

Jos kaapelit joutuvat jatkuvan vetorasituksen alaisiksi pystysuorissa asennuksissa oman painonsa takia esim. pystykuiluissa, on kaapelit ja niiden asennustapa valittava siten, etteivät kaapelit vahingoitu oman painonsa takia. [5.]

Vahvavirta- ja tietojärjestelmien kaapelit sijoitetaan pääsääntöisesti eri johtokanavaan tai hyllylle. Jos kaapeli on asennuspaikalla alttiina mekaaniselle vaurioitumiselle, on se suojattava esim. muototeräksellä tai metallisella vähintään lujuusluokan 3 asennusputkella.

Kaapeleiden liitosten korroosionkesto on varmistettava käyttämällä kosteisiin olosuhteisiin tarkoitettuja tarvikkeita.

#### **Pinta-asennukset kalliopinnoissa**

Asennettaessa pieniä kaapelimääriä kallion pintaan käytetään alumiinisia suojaputkia. Tässä tulee myös huomioida, että kalliopinta, johon asennukset tehdään, ei ole suora ja näin ollen putket asennetaan kalliopintaa mukaillen. Isommissa kaapelimääriissä voidaan käyttää mahdollisuuksien mukaan asennuslistaa tai kaapelihyllyä.

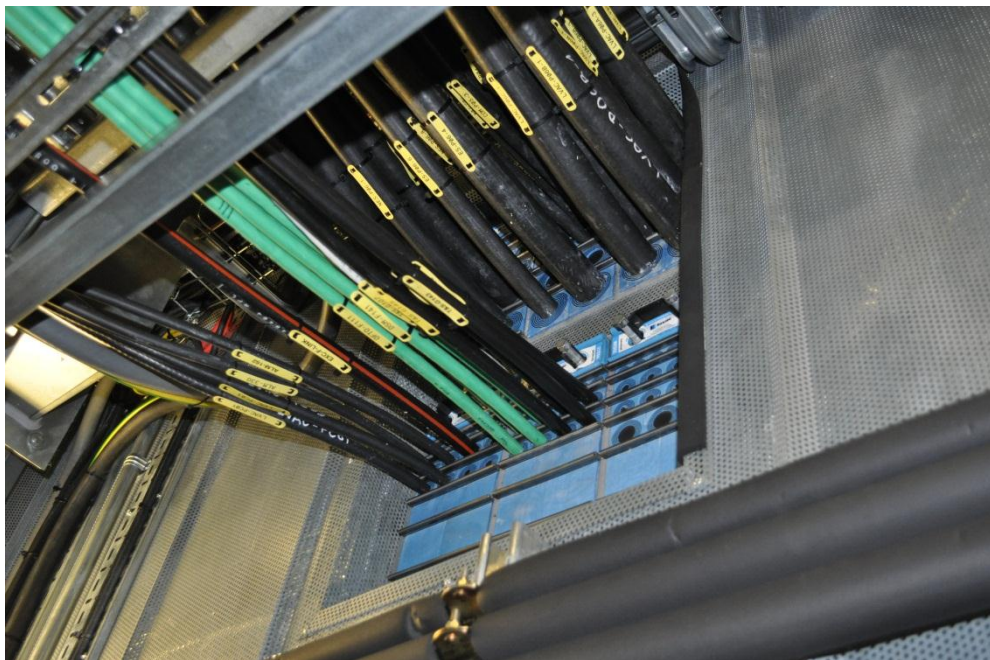


### **Palonkestävät kaapeloinnit**

Palonkestävien kaapeleiden kiinnityksessä pitää huomioida, että rakenteen, johon kiinnitys tehdään, on myös oltava palonkestävä (esim. teräs- tai betonirakenne tai kallio). Palonkestävän kaapelin kiinnittäminen on tehtävä siihen tarkoitettuja palonkestäviä kiinnitystarvikkeita käyttäen.

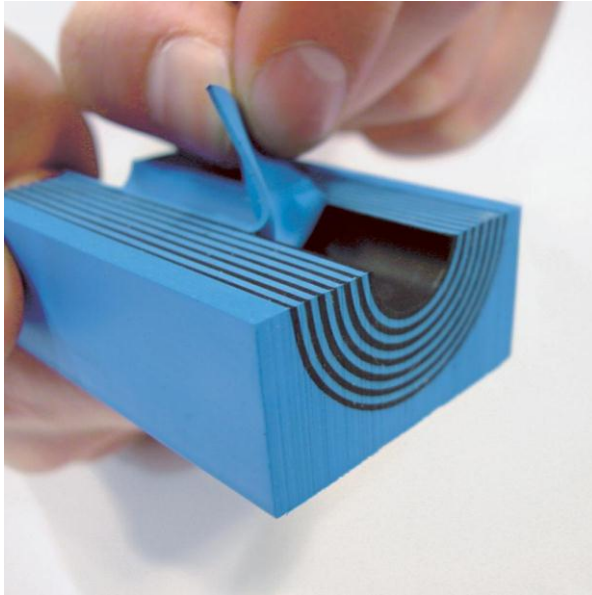
### **3.5 Läpiviennit**

Läpiviennit tiivistetään muita rakenteita vastaaviksi paloalueiden rajoilla palotekniikan kannalta ja huoneiden osalta lämpö-, kosteus- ja äänieristyksen kannalta. Läpivienneissä tulee ottaa huomioon tulevaisuuden mahdolliset lisäykset ja jättää läpivientejä varalle. Läpivienteinä voidaan käyttää esimerkiksi Roxtecin moduulipaloilla suljettavia kaasuläpivientejä (kuva 6).



**KUVA 6. Kaapeleiden läpivienti**

Roxtec-läpivienneissä seinään tehdään aukko, johon asennetaan Roxtecin kehykset. Kehykset voidaan hitsata, pultata tai valaa seiniin, lattioihin, kattoihin tai muihin rakenteisiin. Kehyksen sisälle asennetaan läpivientimoduulit (kuva 7), jonka läpi kaapeli asennetaan. [4.]



**KUVA 7. Läpivientimoduuli**

### **Palosuojatut kaapeliläpiviennit**

Kaikki paloaluerajojen läpiviennit suljetaan joko palosuojamassalla tai moduulirakenteisella palokatkojärjestelmällä. Yleensä urakassa vedettävien kaapeleiden palokatko toteutetaan palonsuojamassalla ja tulevaisuutta varten tehdään moduulirakenteisia palokatkoja.

Paloaluerajoilla väliseinien ja ovien lävistyksessä kaapelihyllyt katkaistaan ennen seinää ja läpivientiaukoista viedään ainoastaan kaapelit.

### **Paineläpiviennit**

Paineläpivientejä käytetään, kun joudutaan viemään kaapeli paineseinästä läpi. Läpivientien on vastattava kestävyydeltään ja tiiveydeltään väestönsuojalle asetettuja vaatimuksia, ja ne on voitava sulkea väestönsuojan puolelta.

Paineläpivienteinä voidaan käyttää esimerkiksi TEMETIN läpivientejä.

### 3.6 Sähkölaitteet

Sähkölaitteita valittaessa tulee ottaa huomioon kaikki ulkoisten tekijöiden vaikutukset, joita laitteisiin kohdistuu tunneleissa. Kaikki tunneleihin tulevat sähkölaitteet on oltava mekaanisesti lujia ja korroosionkestäviä. Laitteet on aina pyrittävä sijoittamaan mahdollisimman suojattuun paikkaan kolhujen ja vahinkojen välttämiseksi. Valaisimien osalta enintään 2,3 m:n korkeudelle asennettava valaisin on varustettava mekaanisella lisäsuojalla. [5.]

Laitteen IP-luokitus tulee valita asennuspaikan olosuhteiden mukaan. Yleensä käytetään vähintään roiskevedeltä suojattuja kalusteita, ja jos tunnelissa tulee esim. liikenteen aiheuttamia paineiskuja, on kohteessa monesti määritelty vaadittu IK-luokka.

### 3.7 Maadoitus

Maadoitus suoritetaan standardia SFS 6001-9 soveltaen. Tunnelin maadoituselektrodi tulee asentaa sopivaan paikkaan maan pintakerrokseen. Tunneliin voidaan tehdä lisäelektrodeja, jos kallioperän johtavuus antaa siihen mahdollisuuden [5.]

Yhteistä maadoituselektrodia tai niiden yhdistelmää käytettäessä on eri järjestelmien maadoitettavat osat yhdistettävä maan päälliseen elektrodiin kahdella runkomaadoitusjohtimella mieluiten kahta eri reittiä [5].

### 3.8 Tarkastukset ja mittaukset

Käyttöönottotarkastukset on hyvä suunnitella huolella etukäteen ja niihin voi kulua paljon aikaa johtuen pitkistä etäisyyksistä. Lopullisten valaisimien käytöstä sovitaan tilaajan kanssa, jolloin tulee ottaa huomioon, että yleensä niiden käyttöönoton jälkeen työmaa-aikainen valaistus puretaan nopeasti. Tämän jälkeen valaisimille tehtävät mittaukset tai muut työt ovat huomattavasti vaikeampi suorittaa, koska mitattavan valaisinryhmän alueella tulee pimeää tai ainakin osa valaistuksesta häviää.

## 4 JÄRJESTELMÄT TUNNELEISSA

Tunneleihin asennettavat järjestelmät päätetään tapauskohtaisesti kohteen tyypin mukaan. Jokaisesta kohteesta tehdään aina riskianalyysi, josta selviää eri järjestelmien tarve ja laajuus. Kuitenkin turvallisuuden kannalta tärkeät järjestelmät, kuten paloilmaisin-, hätävalaistus-, kommunikointi-, savunpoisto- ja varavoimajärjestelmä, ovat tärkeässä asemassa, jotta kohteesta tulisi turvallinen.

### 4.1 Varavoimajärjestelmä

Tunneleissa on yleensä tärkeiden laitteiden sähkönsyöttö varmistettu varavoimakoneilla (kuva 8). Osa tärkeistä järjestelmistä on myös UPS:n perässä, joka takaa katkeamattoman syötön. Lisäksi joidenkin kriittisten järjestelmien käyttämiseksi rakennetaan sähkölaitoksen varasyöttö hätätilanteita varten.



**KUVA 8. Varavoimakone**

## **4.2 Savunpoistojärjestelmä**

Tulipalossa syntyvien vaarallisten kaasujen poistaminen on yksi tärkeimmistä turvallisuustekijöistä. Toimivalla savunpoistolla varmistetaan tulipalon sattuessa mahdollisimman turvallinen poistuminen ja pelastushenkilökunnan työn helpottamisen.

Savunpoisto toteutetaan yleensä pystykuiluihin sijoitettavilla savunpoistopuhaltimilla, jonka lisäksi käytetään siirtoilmapuhaltimia, joita sijoitetaan tunneliin. Siirtoilmapuhaltimilla usein halutaan tehdä ali- tai ylipainetta, niin että saadaan savu ajettua ulos halutusta kuilusta.

## **5 TYÖTURVALLISUUS**

Tunnelityömaan olosuhteet ovat yleensä pimeät, kosteat, kylmät ja likaiset. Ilmassa voi olla myös paljon muita epäpuhtauksia, kuten pakokaasua, nokipölyä jne. Näihin olosuhteisiin täytyy varautua oikeilla varusteilla, työkaluilla ja hyvällä töiden suunnittelulla. Yksi tärkeä tekijä töiden suunnittelussa on kohteeseen tehtävä turvallisuussuunnitelma, johon kuuluu vaarojen tunnistaminen ja riskien arviointi. Työmaa myös tarkastetaan ennen töiden aloittamista, jossa katsotaan, onko se tarpeeksi turvallinen työskentelyyn.

Tunnelityömaan vaaratekijät jakautuvat kuuteen eri luokkaan: fysikaaliset vaaratekijät, tapaturmavaarat, ergonomia, kemialliset ja biologiset vaaratekijät sekä henkinen kuormittuminen [6].

### **5.1 Fysikaaliset vaaratekijät**

Fysikaalisilla vaaratekijöillä tarkoitetaan melun, lämpötilan, ilmanvaihdon, valaistuksen ja säteilyn aiheuttamia vaaratekijöitä [6].

## **Melu**

Melu voi olla iso turvallisuusriski. Jatkuvaan meluun osataan varautua tarvittavin kuulosuojaimin, ja kommunikoinnin helpottamiseksi voidaan käyttää aktiivikuulosuojaimia, joista kuulee äänet läpi, mutta ne estävät äkilliset kovat äänet. Melun ollessa äkillistä ja yllättävää ns. iskumelua voi se pahimmillaan vaurioittaa kuuloa tai aiheuttaa muita vammoja äkillisestä kovasta äänestä johtuvan säikähtämisen takia. [6.] Jos tiedossa on esimerkiksi louhintatöissä tehtävä räjäytys, kannattaisi esimerkiksi telineellä tehtävät työt keskeyttää siksi aikaa putoamisvaaran takia.

## **Home**

Tunneleiden rakennusvaiheessa niissä voi esiintyä myös hometta. Työturvallisuuslain (738/2002) ja valtioneuvoston asetuksen (205/2009) mukaisesti rakenteiden mikrobikasvustojen tutkiminen kuuluvat rakennuttajalle.

Homeille toistuva altistuminen ilman hengityssuojaimia voi johtaa alveoliitin tai muun ammattitaudin kehittymiseen. esim. allergiseen nuhaan tai astmaan. Jos tiloissa esiintyy hometta, niissä pitää käyttää asianmukaisia hengityssuojaimia, joko hienopölysuodattimella varustettua puolinaamaria tai raitisilmakypärää. [6.]

## **Kylmässä työskentely**

Erityisesti talvella voi tunneleissa olla kylmä, ja siellä esiintyvä veto pahentaa tilannetta. Kylmä alkaa selvästi haitata työntekoa silloin, kun ympäristön lämpötila laskee -10 °C -asteen tienoille, ja jos tunnelissa on paljon vetoa, haitat tuntuvat jo nolla-asteen tuntumassa. [9.]

Kun työskennellään kylmissä olosuhteissa, tulee olla asianmukainen talvivaatetus. Näissä olosuhteissa oikeanlaiset työmenetelmät ja työkalut korostuvat, jotta työt saadaan tehtyä nopeammin ja helpommin. Jos työ on pitempikestoinen, voidaan esimerkiksi asentajia vuorotella, jolloin tilasta pääsee joksikin aikaa pois. Joskus tunnelin pää voidaan myös suojata ja tunnelia päästään lämmittämään olosuhteiden helpottamiseksi. [9.]

## **Ilmanlaatu**

Maanalaisissa tiloissa käytetään rakennusaikana koneellista ilmanvaihtoa, mutta yleensä haluttua ilmanlaatua ei pystytä saavuttamaan kaikkiin työkohteisiin.

Ilmasta on pyrittävä saamaan mahdollisimman puhdasta ja riittävän happipitoista. Hengitysilman happipitoisuuden tulee olla vähintään 18 tilavuusprosenttia. Hengitysilman happipitoisuutta ja puhtautta on seurattava ja arvioitava mittaamalla tai muulla luotettavalla tavalla. [9.]

Ilmanvaihdossa on otettava huomioon pako- ja räjähdyskaasujen lisäksi kallion laadusta mahdollisesti aiheutuvat pölyt, radonkaasu ja vaaralliset aineet, samoin kuin palon vaara. [10.]

Kosteuteen on hyvä myös valmistautua hengittävällä työvaatetuksella ja huurtumattomilla suojalaseilla.

## **Ilman epäpuhtaudet**

Tavallisimmille työilman epäpuhtauksille, kuten orgaanisille ja epäorgaanisille pölyille tai kemiallisille yhdisteille, on työhygieenisen ja työlääketieteellisen tietämyksen perusteella määritetty niin sanotut HTP-arvot eli haitalliseksi tunnetut pitoisuudet. Nämä pitoisuudet on määritelty sosiaali- ja terveysministeriön asetuksessa haitalliseksi tunnetut pitoisuudet. [9.]

Tunneleissa on työntekijöiden hengitysilman koostumusta ja epäpuhtauspitoisuuksia tarkkailtava säännöllisesti. Tarkkailu kuuluu pääurakoitsijalle. Sopiva tarkkailuväli määritellään kohteen ja töiden tilanteen mukaan. Tarvittaessa on ennen työskentelypaikalle menoa mittaamalla varmistettava, ettei sallittuja raja-arvoja ylitetä. [9.]

Mittauksia on tuuletuksen ja muiden toimenpiteiden jälkeen tarvittaessa toistettava, kunnes voidaan olla varmoja, että aineiden pitoisuudet ovat sallittujen raja-arvojen alapuolella ja että ilman happipitoisuus on riittävä. [9.]

Säännöllisesti maan alla käytettävän ajoneuvon tai työkoneen pakokaasujen noki- ja CO-pitoisuudet tulisi mitata säännöllisesti, kuitenkin vähintään kerran joka toinen kuukausi. Mittauksista on pidettävä kirjaa, johon tehdään merkintä mittauksesta ja sen tuloksista sekä suoritetuista toimenpiteistä. [11.]

### **Radon**

Radonia vapautuu ilmaan kaikkialla maa- ja kallioperästä. Radon voi aiheuttaa mm. keuhkosityöpää. Radonhaittaa voidaan pienentää riittävällä ilmanvaihdoilla ja kallion vuotovesien tukkimisella. [10.]

Hengitysilman työaikaisen radonpitoisuuden vuosikeskiarvo ei saa ylittää  $400 \text{ Bq/m}^{-3}$ , kun vuotuinen työaika on 1 600 tuntia tai sitä pitempi. Jos vuotuinen työaika on sitä lyhyempi tai työ ei ole säännöllistä, sovelletaan alla olevassa taulukossa 1. esitettyjä enimmäisarvoja. [9.]

#### **TAULUKKO 1. Vuotuiset radonpitoisuudet**

<b>Vuotuinen työaika</b>	<b>Radonpitoisuus (<math>\text{Bq/m}^{-3}</math>)</b>
Alle 600 tuntia	1000
Alle 300 tuntia	2000
Alle 100 tuntia	6000

### **Valaistus**

Hyvä valaistus on tärkeä tekijä työturvallisuuden kannalta ja on yksi perusedellytys turvalliseen työskentelyyn. Työskenneltäessä tunnelissa työmaavalauksen pettäminen on iso turvallisuusriski. Tämä riski voidaan poistaa sillä, että jokaisella työntekijällä on oma valaisin aina mukana.

## **5.2 Tapaturmavaarat**

Tapaturmavaarat käsittävät työympäristön, esineiden ja aineiden sekä henkilön toiminnan aiheuttamia vaaratekijöitä [6].



Maanalaisissa tiloissa liikkumiseen sisältyy paljon vaaroja tilojen epätasaisuuden, vuoto- ja käyttövesien muodostamien lätäköiden ja liukkauden takia. Kun tähän vielä yhdistetään huonot valaistusolosuhteet, on tapaturmariski ilmeinen. Näitä riskejä voidaan pienentää hyvällä valaistuksella ja sekä kunnollisilla turvajalkineilla. [9.]

Rakennustavaran, työkalujen tai muun esineen putoaminen kuiluun asennustyön aikana on myös suuri riski, joten jokaisen tulee kiinnittää näissä tiloissa erityistä huomiota, että mitään ei pääse putoamaan alas. Tavaraa ei myös saisi yrittää kuljettaa enempää kuin pystyy kantamaan, jotta mitään ei pääsisi putoamaan. Tunneleissa on yleensä pitkät poistumisreitit palo- tai onnettomuustilanteissa, joihin olisi hyvä varautua huolellisella perehdytyksellä ja turvallisuusasioiden läpikäymisellä. [6.]

### **5.3 Ergonomia**

Ergonomialla tarkoitetaan työpisteen, työasennon, ruumiillisen kuormituksen, työvälineiden ja menetelmien sekä työn muunneltavuudesta aiheutuvia vaaratekijöitä [6].

Suurimmat haasteet ergonomiassa ovat taakkojen nosteleminen ja kantaminen, sekä eri korkeuksille tehtävät asennustyöt, jossa joutuu esimerkiksi kurottautumaan ylöspäin, tai olemaan kyykyssä. [6].

Työvälineiden tulisi olla sopivankokoisia, -muotoisia ja -painoisia, ja niistä pitäisi saada hyvä ote, jotta sen käyttö luonnistuisi mahdollisimman helposti. Kiinteät rakennustelineet tulisi olla riittävän laajalle alueelle ja korkeudelle tehty. Kaikki käsin tehtävät nostot pyritään tekemään mahdollisimman turvallisiksi sopivin apuvälinein. Työntekijöillä tulisikin olla käytössään erilaisia välineitä tavaroiden viennin, sekä asennuksien helpottamiseksi. Ergonomiaa saadaan parannettua erityisesti asennustöiden hyvällä suunnittelulla. [9.]

## 5.4 Kemialliset ja biologiset vaaratekijät

Kemialliset ja biologiset vaaratekijät ovat työssä esiintyvien altisteiden, kemikaalien käytön, tuli- ja räjähdysvaaran sekä biologisten vaarojen aiheuttamia vaaratekijöitä [6].

Työturvallisuuslaki edellyttää, että työntekijän altistuminen kemiallisille tai biologisille vaaratekijöille on rajattava niin vähäiseksi, että niistä ei aiheudu haittaa tai vaaraa työntekijän turvallisuudelle tai terveydelle. Käytännössä kaikkia haittoja ei voida poistaa vaan on mietittävä miten niitä voisi vähentää. Yksi tärkeä tekijä on henkilökohtaiset hengityssuojaimet ja jokaisella työntekijällä tulisi olla näitä käytössään, joita voidaan aina tarpeen vaatiessa käyttää. Kemikaaleja on varastoitava ja käsiteltävä huolellisesti, jotta voidaan minimoida niistä aiheutuvat riskit. [9.]

## 5.5 Henkinen kuormittuminen

Henkinen kuormittuminen aiheutuu työn sisällön sekä organisoinnin ja toimintatapojen aiheuttamista tekijöistä[6].

Pimeässä työskentely voi olla myös henkisesti kuormittavaa, koska jatkuva pimeys ilman luonnonvaloa voi olla joillekin ihmisille raskasta. Jokapäiväisen työnteon sujuvuutta edistävät hyvät ja tarkoituksenmukaiset työvälineet sekä viihtyisä ja turvallinen työympäristö [6.]

Töiden hyvä organisointi ja tulevien asennustöiden hyvä ennakointi vähentää kiirettä ja siitä aiheutuvaa stressiä. Myös jatkuvaa edestakaisin kulkemista tulisi välttää. Jos etäisyydet ovat pitkiä, tulee asennuspaikassa tehtävät työt pyrkiä ennakoimaan ja suunnittelemaan hyvin etukäteen.

## 6 SÄHKÖASENNUKSET METROSSA

Metroradalle tulevia sähköasennuksia ovat yleensä yleisvalaistus, joka on normaalitilanteessa pois päältä, mutta voidaan laittaa tarvittaessa päälle. Valaistuksen lisäksi tunneleissa on pistorasiakeskuksia, hätäpuhelimia, pikapuhelimia,

rikosilmoitusjärjestelmiä yms. Jos työskennellään käytössä olevalla metroradalla, monet työt joudutaan tekemään öisin johtuen päivällä olevasta jatkuvasta liikenteestä. Tavarankuljetus metroradalle on haasteellista, ja ne, joita ei voi käsin sujuvasti kantaa radalle, joudutaan tuomaan esim. yöllä huoltojunalla. Radan vieressä kulkeva keltaisella kannella varustettu virtakisko tulee myös huomioida. Virtakisko on alhaalta paljas, ja siinä on 750VDC jännite.



**KUVA 9. Metrotunneli**

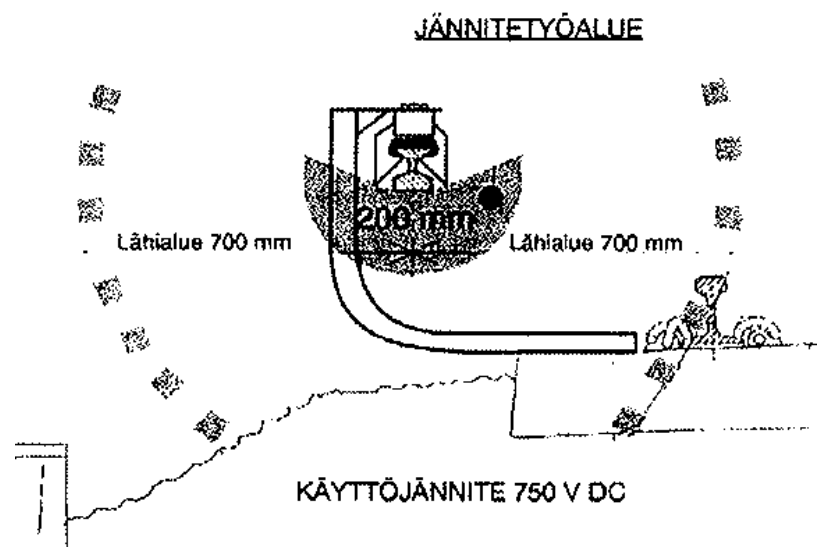
### **6.1 Työturvallisuus metrossa**

Metroradalla saa työskennellä vain, jos on suorittanut metron oman rataturvallisuuskurssin. Työskenneltäessä tai liikuttaessa rata-alueella on normaalien työturvallisuuteen vaikuttavien tekijöiden lisäksi kiinnitettävä erityistä huomiota junaliikenteen ja sähköisten laitteiden aiheuttamaan turvallisuusriskiin. [3.]

Metrorata katsotaan osittain paljaana ja kosketeltavissa olevan virtakiskon takia sähköalueeksi. Virtakisko on osa junan sähkönsyöttöjärjestelmää, jossa on 750 Vdc

jännite. Tasasähkön plusnapa on kytketty virtakiskoon ja miinusnapa ajokiskoon. Paljaan kehon tai työkalun joutuessa kosketuksiin virtakiskon kanssa aiheuttaa hengenvaaran.[3.]

Virtakiskon 750 Vdc jännitteen perusteella virtakiskolaitos on pienjännitelaitteisto, ja siihen sovelletaan SFS 6002-sähköturvallisuustandardin antamia turvaetäisyyksiä. Virtakiskon ollessa jännitteinen on metroradalla työskentely yleisesti sallittu silloin, kun ei ole mitään vaaraa joutua virtakiskon suojaamattoman osan lähialueelle. ( $D_v=700\text{mm}$ )[3.]



**KUVA 10. Jännitetyöalue**

Virtakiskon lähialue ulottuu 700 mm joka suuntaan suojaamattomasta virtakiskosta. Jos työskennellään tällä alueella, tulee noudattaa erityistä varovaisuutta, eikä pitkiä johtavia esineitä saa kuljettaa mukana. Jos työskenneltäessä joutuu lähemmäksi kuin 200 mm virtakiskoa, se on tehtävä jännitteettömäksi ja työmaadoitettava työn ajaksi. Työskenneltäessä työkaluilla virtakiskon lähietäisyydellä (alle 2 m) tulee virtakiskon aina olla jännitteetön. [3.]

Radalla työskenneltäessä joudutaan tekemään ilmoituksia kolmeen eri valvomoon. Taulukossa 2 kerrotaan milloin tulee olla minnekin valvomoon yhteydessä. Rata-alueelle ei koskaan saa mennä ilman lupaa. Aina valvomoon soitettaessa on tärkeää muistaa mainita oma ja yrityksen nimi. [3.]

**TAULUKKO 2. Radalle tehtävät ilmoitukset**

Tehtävän laatu	Liikennevalvomo	Järjestyksenpitovalvomo	Tekninen valvomo
<b>Meno radalle</b>	Pyydetään lupa ja kerrotaan menoreitti ja työn tarkoitus.	Pyydetään lupa ja kerrotaan menoreitti ja työn tarkoitus.	-
<b>Poistutuminen radalta</b>	Ilmoitetaan, kun radalta on poistuttu.	Ilmoitetaan, kun radalta on poistuttu.	-
<b>Meno ratasähkön tiloihin esim. syöttöasema, erotinhuone</b>	-	-	Pyydetään lupa ja kerrotaan menemisen tarkoitus.
<b>Teknisten järjestelmien ohjaus.</b>	-	-	Pyydetään Teknosta

Radalla työskenneltäessä täytyy jokaisella olla keltaiset huomioliivit. Virtakiskoon tulee aina suhtautua ikään kuin se olisi jännitteinen, ellei sitä ole työmaadoitettu. [3.]

Metroverkostossa löytyy muitakin järjestelmiä, jotka käyttävät tasajännitettä, eli jännitteettömyyttä todettaessa tulee olla varma, onko kyseessä tasa- vai vaihtojännite. Asemalla työskenneltäessä tulee huomioida jatkuva väkijoukko.

Työkohde voidaan tarvittaessa suojata junaliikenteeltä esim. levyrakenteisella suojauksella, joka estää työntekijää tahattomasti joutumasta junan ulottuma-alueelle. Suojarakennelmat ja rakennustelineet tulee kiinnittää lujasti, ettei junan aiheuttama ilmavirtaus saa niitä siirtymään paikoiltaan. [3.]

Telineitä tai muita rakennelmia radan varteen tehtäessä tulee huomioida vaadittu aukean tilan ulottuma (ATU), joka pitää olla tyhjä junaa varten. ATU on suoralla rataosuudella 2m ja kaarteessa 2,2m radan keskilinjasta. [3.]

Jokaisen aseman lähtöraide on varustettu vilkkuvalla valo-opastimella, jolla ilmaistaan kuljettajalle, että seuraavalla rata-osuudella on työntekijöitä radalla. Näin junan kuljettaja osaa ajaa varovaisemmin. Jos työskentely ulottuu myös viereiselle raiteelle, annetaan sama merkki vastakkaisen lähtöaseman päässä. [3.]

Jos työt ovat sen luontoisia, että niitä ei pysty tekemään liikenteen aikana, on rataosuus suljettava liikenteeltä. Tällaiset työt tehdään yleensä öisin.

## **6.2 Sähkönjakelu**

Sähkötilojen päällä ei saa olla märkätiloja, eikä sähkötilojen läpi saa viedä LVI-putkistoja. Tunneliasemien muuntamot on varustettu kahdella muuntajalla. Normaalisti toinen muuntaja syöttää valaistusjakelua ja toinen voimajakelua. Pienjännitepääkeskuksen erottimilla voidaan muuntajat kytkeä rinnan tai ohjata koko kuormitus toiselle muuntajalle.

Asemien ja ratatunneleiden sähkönjakelu toteutetaan jakelualueittain sijoitettujen nousu- ja ryhmäkeskusten kautta. Asemalle asennetaan normaaliverkon, varavoimaverkon sekä UPS- jakeluverkon jakelujärjestelmät.

### **Keskukset**

Pääkeskushuoneisiin asennetaan kennorakenteiset voiman (C) ja valaistuksen (D) pääkeskukset sekä varavoiman jakokeskus (GB). Jos kojeistot sijaitsevat hoitokäytävän eri puolilla, on ne liitettävä toisiinsa kiskosillalla. Pää- ja nousukeskusten pääkatkaisijat liitetään varavoimakoneen ohjauskeskukseen (GA).



**KUVA 11. Pääkeskukset metrossa**

Voiman ja valaistuksen pääkeskukset jaetaan kahteen ryhmään, jotka ovat tärkeät (A) ja vähemmän tärkeät (B) keskukset. Pääkeskukset merkitään niin, että ensimmäinen kirjain kertoo keskuksen käyttötarkoituksen ja toinen sen tärkeyden. Esim. CA tarkoittaa tärkeän voiman keskusta. Tämä jako tehdään siksi, että sähkökatkon sattuessa varavoimakone syöttää vain tärkeitä keskuksia ja vähemmän tärkeät ovat katkon aikana poissa käytöstä.

Pää- ja nousukeskukset varustetaan suunnitelma-asiakirjojen mukaisella vikavirran valvontajärjestelmällä, josta viedään hälytykset keskuskohtaisesti kiinteistöautomaatioon. Jakokeskusten tulee täyttää LVD- ja EMC-direktiivin vaatimukset.

LVD-direktiivi on pienjännitedirektiivi, jonka tarkoituksena on taata, että Euroopan unionin markkinoilla olevat sähkölaitteet eivät oikein kytkettyinä, asennettuina ja huollettuina vaaranna henkilöiden, kotieläinten tai omaisuuden turvallisuutta.

EMC-direktiivin tarkoituksena on varmistaa, että laitteet eivät häiritse muiden laitteiden eikä sähkö-, radio- ja televerkkojen toimintaa. Se varmistaa myös, että laitteiston oma sähkömagneettinen sietokyky on riittävä, jotta muut laitteet eivät häiritse sen toimintaa. Laitteen valmistaja laatii tarvittavat asiakirjat, jotka osoittavat keskuksen olevan EMC-direktiivin mukainen. [8.]

Keskuksen muovikotelosta saadaan EMC-suojattu, kun se pinnoitetaan erityisiseoksella. Metallikotelo on EMC-suojattu sellaisenaan. Kaikissa koteloidissa on oltava johtava tiiviste. [8.]

### **6.3 Johtotiet**

Johtoteiden asennuksessa ratatunneliin on otettava huomioon aukean tilan ulottuma (ATU).

#### **Putkitus ja rasioinnit**

Turvajärjestelmien rasiointien iskulujuuden oltava vähintään IK 10, ja niiden oltava testattuja siten, että palokokeen jälkeen kotelointiluokka on vähintään IP20. Lisäksi rasioiden tulee olla varustettuna kiinteillä keraamisilla liittimillä.

#### **Kaapelihyllyt**

Keskijännitekaapeleille sekä ratasähköjärjestelmille asennetaan omat erilliset kaapelihyllyt. Hyllyinä käytetään ensisijaisesti 500 mm levyisiä alumiinihyllyjä. Ratatunnelissa kaapelihyllyt sijoitetaan radan sisäreunaan. Turvajärjestelmien kaapelit on asennettava ylimmälle hyllylle, jos niitä on useampi. Hyllyjen jatkokappaleiden tulee olla sähköä johtavia.

#### **Valaisinripustuskiskot**

Asennus suoritetaan siten, ettei taipuma kannatusvälillä ylitä arvoa 1:200. Kannatus määritellään kuormituksella 10 kg/m. Ripustuskiskojen jatkokappaleiden tulee olla sähköä johtavia. Ripustuskiskot asennetaan siten, että niitä voidaan käyttää mahdollisimman paljon valaisimien kiinnitysalustoina ja johtojen asennusreitinä.



## 6.4 Sähkölaitteet

Laitteiden on oltava rakenteeltaan kulloinkin kyseessä oleviin asennusolosuhteisiin tarkoitettuja.

Eri tiloihin asennettavien laitteiden suojausluokat ovat vähintään seuraavat [3]:

- Ratatunneli IP(65)66 (Ratatunneleissa käytetään IP66 pistorasioita ja pistotulppia)
- Tekniset tilat IP 34
- Muut tilat siellä vallitsevien olosuhteiden määrittelemien vaatimusten mukaan.

## 6.5 Maadoitukset

Metroverkostossa käytetään kolmea eri maapotentiaalia, jotka ovat asemamaa, tunnelimaa ja ratamaa.

Metroasemien betoniradoitusverkko muodostaa metroaseman maadoituselektrodin asemamaan. Tätä maadoituselektrodia käytetään pienjännitejakelujärjestelmän päämaadoituksena. Aseman rakenteita ei saa yhdistää galvaanisesti sähkölaitoksen jakeluverkon ns. vesimaahan. Yhteys on tehty ainoastaan muuntamotilaan tulevasta keskijännitekaapelin mukana olevasta eristetystä maadoitusjohtimesta. Asemamaahan yhdistetään kaikki aseman maadoitukset, paitsi mahdolliset asemalaiturin metallirakenteiset seinät ja niissä olevat ATC-ohjatut automaattiovet. Ne yhdistetään ajokiskojen ns. ratamaahan, koska muuten junan ratamaassa oleva runko ja asemamaassa olevan oven välille syntyisi vaarallinen potentiaaliero.

Tunneleissa on oma tunnelimaa, jonka muodostavat tunneleissa olevat kaapelihyllyt, tunnelin betoniverkot, palo-vesijohdot ja muut metallirakenteet. Tunnelimaata ei ole erityisesti yritetty pitää rakenteellisesti erossa vesimaasta, mutta tunnelimaan ja asemamaan välisiä galvaanisia yhteyksiä on pyritty estämään. Esimerkiksi metrotunnelissa olevat kaapelihyllyt maadoitetaan tunnelimaahan ja aseman kohdalla tehdään aseman ohitus, jossa kaapelihyllä katkaistaan ennen asemaa ja yhdistetään maadoitusjohtimella aseman jälkeen jatkuvassa tunnelissa olevaan kaapelihyllään.

Ratatunnelista tulevat kaapelihyllyt, ripustuskiskot jne. kytketään aseman ohi esim. MK 70 mm<sup>2</sup> keräilyjohtimilla potentiaalin tasaamiseksi. Keräilyjohtimien yhdistäminen tehdään aseman päämaadoituskiskoon siten, että johtimet tulevat muodostamaan silmukan aseman päämaadoituskiskoon. Silmukoiden tulisi olla symmetriset molemmissa ratatunneleissa.

Ajokiskot muodostavat ratamaan, eikä niillä saa olla metallista yhteyttä putkistoihin tms. maadoitettuihin metalliosiin, jotka ovat ns. vesimaassa. Kiskoihin on liitetty myös metron turvajärjestelmiä, jonka takia kiskot on myös oltava omana järjestelmänä.

Kaapelihyllyjen jatkoksissa ja haaroituksissa on myös huolehdittava, että galvaaninen yhteys säilyy. Tarvittaessa on käytettävä erillistä yhdistyslenkkiä. Putkistoihin asennettavat maadoitusliittimet on sijoitettava siten, ettei niitä tarvitse irrottaa venttiilin tms. laitteen vaihdon yhteydessä.

Kaikki maadoitusjohtimien liitokset on tehtävä korroosionkestävästi siihen tarkoitukseen valmistettuja liittimiä ja tarvikkeita käyttäen. Jos maan alle jää liitoksia, tulee niihin kiinnittää erityistä huomiota. Maan alle jäävien maadoitusjohtimien liitokset on tehtävä hitsaamalla.

## 6.6 LVI-järjestelmät

LVI-kojeiden ohjaus ja valvonta liitetään LVI-säätö- ja valvontajärjestelmään (Compu-tec), jolla voidaan ohjata seuraavia järjestelmiä:

- lämmitys
- ilmanvaihto
- jäähdytys
- vesi- ja viemärilaitteet
- paineilmalaitteet
- energiamittaukset
- sprinkler-järjestelmät.

Konehuoneiden kaapeleiden alasottojen asennustapana hyllyiltä käytetään ainoastaan metalliputkia tai kaapelihyllyjä.

## 6.7 Savunpoisto

Savunpoistopuhaltimet sijoitetaan yleensä asemalla liukuportaiden yläpuolelle ja ratatunnelissa pystykuilujen ala- ja yläpäähän (kuva 12). Lisäksi käytetään siirtopuhaltimia tarpeen mukaan.



**KUVA 12. Pystykuilun yläpäässä oleva puhallin**

Kun puhallin sijoitetaan pystykuilun yläpäähän, puhaltimen käynnistyessä kuilun katossa oleva sääsuojaritilä aukeaa puhaltimen kohdalta ja muilta osin menee kiinni parhaan mahdollisen vedon aikaansaamiseksi.



**KUVA 13. Pystykuilun alapäässä oleva puhallin**

Savunpoistopuhaltimien ohjaus ja valvonta liitetään metron kiinteistövalvontajärjestelmän (KIVA) savunpoiston automaatio-osuuteen. Savunpoistopuhaltimien paikallista ohjausta varten asennetaan ao. ryhmäkeskuksiin ohjauskytkimet.

## **6.8 Maakaapelit**

Jos tunneliin asennetaan maakaapeleita, suojataan ne kaapelinsuojakouruilla. Lisäksi maakaapelien yläpuolelle (n. 400mm) asennetaan muovinen merkkinauha osoittamaan kaapelin sijaintia.

Suojakouruun tai suojaputkeen asennetaan yleensä vain yksi maakaapeli. Kun maakaapelien suojuksina käytetään kouruja, ne sijoitetaan toisiinsa kiinni. Maakaapeliasennuksessa rinnakkaiset kaapeliputket sijoitetaan siten, että putkien välinen vapaa etäisyys on niiden halkaisijan suuruinen. Samaan putkeen voidaan

sijoittaa useita ulkovalaistus-, ohjaus- tms. johtoja, jos putki on riittävän väljä (sisähalkaisija vähintään 2 x kaapelinipun halkaisija). Kun kaapeli nousee maasta, se suojataan sinkityllä muototeräksellä tai muulla samanarvoisella suojauksella, joka ulottuu vähintään 1,5 m:n korkeudelle ja liikenneväylän varrella vähintään 2 m:n korkeudelle maanpinnasta sekä vähintään 0,2 m:n syvyyteen maan alle. Ennen kaapeliojien peittämistä kaapelikarttaan on merkittävä kaapelireitin etäisyydet tunnistettavista maaston kiintopisteistä.

## **6.9 Valaistus**

Asemien välissä olevien tunnelivalaisimien ja turvavalaisimien on oltava iskunkestävää ja ip luokaltaan IP54.

Aseman valaistusta ohjataan pääosin kiinteistövalvontajärjestelmän aikaohjelmilla. Käytävillä ja osissa tiloista on liiketunnistinohjaukset. Yksittäisten huoneiden valaistusta ohjataan pääosin kytkimillä. Ulko- ja aluevalaistusta ohjataan kiinteistövalvontaohjelman (KIVA) aikaohjelmilla ja hämäräkytkintoiminnolla.

Tunneleissa valaisimet asennetaan yleensä kaapelihyllyyn, joiden asennusvälin määrittelevät valaisimen ominaisuudet (kuva 14.)





**KUVA 14. Valaisimet**

## **7 SÄHKÖASENNUKSET TIELIIKENNETUNNELEISSA**

Tietunneleiden sähkönjakeluverkot rakennetaan tunneleiden valaistuksen, ilmastoinnin, pumppaamoiden, savunpoiston, turvajärjestelmien ja teleautomatiikkalaitteiden sähkönsyöttöä varten. Tietunneleissa on suuri sähkönkulutus siellä olevien puhaltimien ja kirkkaan valaistuksen takia.

Tieliikennetunnelit jaetaan neljään eri tunneliluokkaan. Tunnelin luokka määritellään sen liikenteen koostumuksen ja liikennemäärän perusteella. Luokassa 4 on tiukimmat ja luokassa 1 keveimmät vaatimukset.[7.]

Suomessa käytettävät maantietunneleita koskevat määräykset ja ohjeet on annettu liikenneviraston toimesta 1.1.2008, ”Tietunnelien hallinnointi ja turvallisuutta koskevat määräykset ja ohjeet” [7].

## 7.1 Sähkönjakelu

Sähkönjakelutapaan vaikuttaa tunnelin pituus, muuntamoiden sijoitus yms. Tavallisesti tunneleissa käytetään pienjännitejakelua. Erittäin pitkissä tunneleissa voidaan käyttää myös keskijännitejakelua.

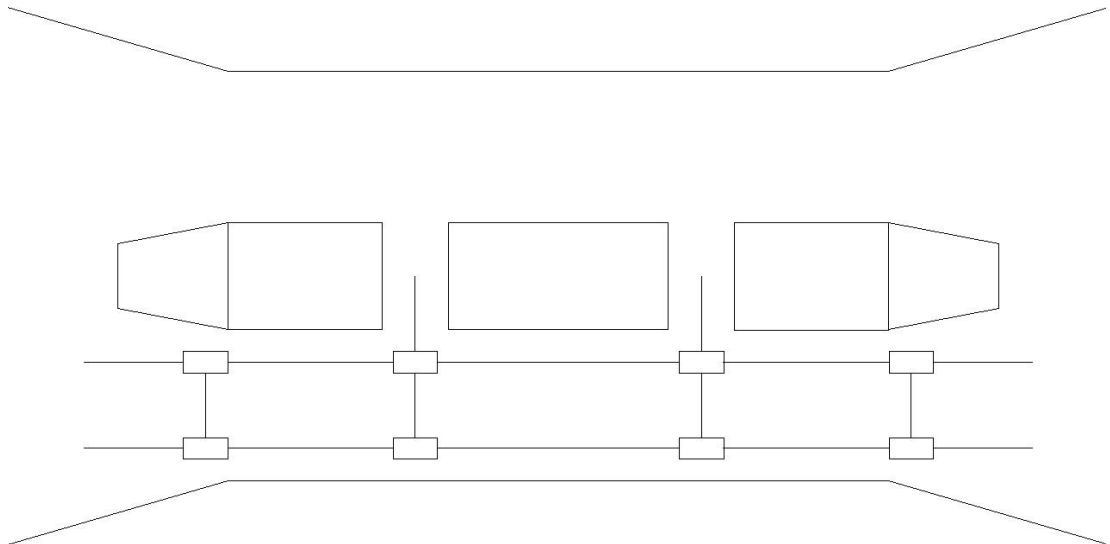
Muuntamoiden määrä, jolla sähkönsyöttö toteutetaan, riippuu tunnelin pituudesta. Jotta pitkiltä nousujohtojen vedoilta ja suurilta johtojen impedansseilta vältyttäisiin, on hyvä sijoittaa useita muuntamoita siten, että yksi palvelee esim. 750m tunneliosuutta. Muuntamot voidaan sijoittaa esimerkiksi itse tunneliin tai tunnelin ulkopuolelle rakennettuun laitetilaan.

Pääkeskuksia varten tehdään yleensä lämmitetyt pääkeskushuonetilat. Tunneliin on sijoitettava huoltopistorasiakeskukset enintään 150 m välein, jotka yleensä sijaitsevat hätäasemilla. Nousu ja ryhmäkeskusten suojausluokka on IP 34, jos ne sijoitetaan tekniseen tilaan, ja IP 65, jos ne sijoitetaan ajotunneliin.

Käyttömaadoitukset tehdään keskuksilla, jokaisen valaistusryhmän ja haaran päässä sekä pitkissä ryhmissä enintään 500 m välein, ottaen huomioon otolliset maadoituskohdat.

## 7.2 Johtotiet ja kaapelointi

Tieliikennetunneleissa johtotiet toteutetaan pääosin maan alla, jossa on tasaisesti kaivoja n. 50-150 m välein. Kaivoista menee putket tekniseen tilaan (kuva 15). Tämän tavan etuna on, että kaapeleiden lisäys- ja muutostyöt ovat mahdollisia. Kaapelit ovat maan alla myös palosuojassa. Kuitenkin palonkestävän johdotuksen koko matkalta vaativat piirit, esim. turvavalaistus, on kaapeloitava palonkestävällä kaapelilla koko matkalta. Savunpoistopuhaltimet yleensä kaapeloidaan kuitenkin palonkestävällä kaapelilla vain kanavan ulkopuolella. Kaikki kaapelit merkitään jokaisessa kaivossa erikseen, sekä kaapelin päissä. Pesualtaille menevissä kaapeliläpivienneissä täytyy käyttää kaasutiiviitä läpivientejä.



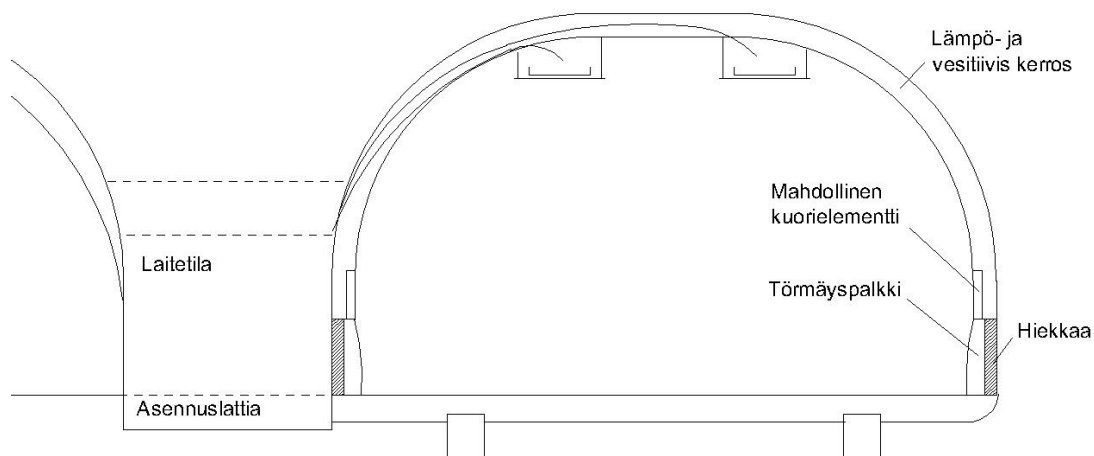
**KUVA 15. Johtotiet maan alla**

Kaivojen putkina käytetään 110 mm muoviputkia, ja kaivoina käytetään halkaisijaltaan 800-1500 mm kokoisia ympyrän tai suorakaiteen muotoisia kaivoja.

Lisäksi tunnelin kattoon asennetaan kaapelihyllyt, jotka kulkevat tunnelissa sen suuntaisesti. Niihin yleensä ripustetaan myös tunnelin valaisimet. Kaapelihyllytyyppinä käytetään esim. MEKA KS 80 hyllyä, joka on tehty teräsohutlevystä. Hylly on kuumasinkitty valmistuksen jälkeen ja se sopii hyvin kaikenlaisiin tunneleihin ja kestää mm. suolavettä. Hyllystä on saatavana myös vahvempi sp2.0 malli, jonka ainevahvuus on 2 mm. Vahvempaa hyllyä käytetään tarpeen vaatiessa, jos hyllyyn kohdistuu paljon painorasiitusta esim. suuren valaisinmäärän takia tai kannakkeiden välin ollessa liian pitkä normaalille hyllylle.

Tunnelin kattoon tulee yleensä lämpö- ja vesieristyskerros, jonka alle asennetaan 110 mm muoviputket kaapelihyllyiltä laitetiloihin. Muoviputket kiinnitetään kallioon (kuva 16).





**KUVA 16. Tunnelin poikkileikkaus**

Hyllyt kannakoidaan betonitunnelissa betonivaluun asennettavalla valuankkurilla, joka asennetaan kohtisuorasti valun pintaan nähden. Ankkuriin laitetaan yleensä 16-20 mm kierretanko. Kierretankoon laitetaan alapalkki esim. 3M 40x80x40 L-palkki. Hyllyt voidaan kannakoida myös kallioon joka tapauksessa porattavista lämpö- ja vesieristysten kiinnitystangoista. Hyllyjen kannakointi on oltava normaalia tukevammin rakennettu siihen kohdistuvien liikenteen aiheuttamien paineiskujen vuoksi.

### 7.3 Sähkölaitteet

Valittaessa tietunneleihin asennettavia sähkölaitteita täytyy varmistaa, että ne sopivat hyvin tietunnelin olosuhteisiin. Esim. paineiskut, lumi, jää ja tiesuola tulee ottaa huomioon. Laitteen ip-luokan on oltava vähintään asennuspaikan vaatima.

Tietunneleissa vaaditut suojausluokat:

- Tunneli IP 65
- Yhdyskäytävät IP 34
- Tekniset tilat IP 34

Sähkölaitteita on tunnelin valaistuksen ja puhaltimien lisäksi mm. hätäasemilla, jotka sijoitetaan tunnelin suuaukoille, hätäuloskäyntien yhteyteen ja tarvittaessa myös niiden välille. Tunneleissa on oltava hätäasema max. 150 m välein, ja siitä on

löydyttävä hätäpuhelin, pistorasiakeskus, 2x6kg jauhesammutin, palovesiasema ja pikapaloposti. Yleensä siellä on myös paloilmoituspainike.

#### **7.4 Varavoimajärjestelmä**

Tietunneleihin rakennetaan usein varavoima, jonka tarve määritellään riskianalyyssissa. Varavoima voidaan joissain tilanteissa toteuttaa varavoimakoneen sijaan rengassyötöllä, jolloin sähkönsyöttö tulee kahdelta eri sähköasemalta.

Varavoimaan liitetään tavallisesti seuraavat järjestelmät:

- turva-, ohjaus- ja valvontajärjestelmät
- telelaitteet
- vara-, merkki- ja hätävalaistusjärjestelmä
- savunpoistojärjestelmä
- pumppaamojen laitteet
- huoltopistorasiakeskukset.

#### **7.5 Savunpoistojärjestelmä**

Direktiivin mukaan jos tunnelin pituus on alle 500 m, se ei tarvitse savunpoistoa. Tästä kuitenkin liikennevirasto ja pelastuslaitos päättävät viimekädessä. Puhaltimet asennetaan tunnelin kattoon. Puhaltimien ilmavirran nopeus täytyy olla 2m/s. Puhaltimet mitoitetaan kuitenkin varmuuden vuoksi 5m/s virtauksen mukaan, jotta oikeasti päästään vähintään vaadittuun virtaukseen. Palon sattuessa savu nousee tunnelin kattoon ja puhaltimilla imetään aina palopaikasta poispäin liikenteen suuntaan, jotta ihmiset pääsisivät pakenemaan mahdollisimman turvallisesti.



**KUVA 17. Savunpoistopuhaltimet**

Tulipalot havaitaan tunneleissa palonilmaisimilla, joita on yhdyskäytävissä ja laiteteiloissa. Varsinaisessa ajotunneleissa kulkee fibro tai vastaava kuitulämpöilmaisinkaapeli, joka pystyy ilmaisemaan myös palokohdan.

## **7.6 Valaistus**

Tunnelivalaistuksen tavoitteena on taata, että tunnelin käyttäjät voivat kulkea sen läpi turvallisesti havainnoiden mahdolliset esteet ja tien suunnan. Tämä toteutetaan käytännössä sillä, että kuljettaja ehtii reagoida ja pysäyttää ajoneuvon ennen estettä. Turvallisuuden takaamiseksi tunnelissa on oltava normaalivalaistus, joka takaa riittävän näkyvyyden päivällä ja yöllä. Lisäksi siellä olevassa turvavavalaistuksessa on kaksi osaa: varavalaistus ja evakuointivalaistus. [2.]

Tietunneleissa valaisimina käytetään vain siihen olosuhteisiin tarkoitettuja valaisimia, Esim. Siluxilta saatavia Sitecon 5NA854D1-valaisimia. Valaisimet tulisi sijoittaa siten, että ne selventäisivät tien suuntausta, eli yhtenäisiksi jonoiksi. Valaisimien tulee olla lujia sekä korroosionkestäviä, ja ne ripustetaan yleensä tunnelin katossa

sijaitsevaan kaapelihyllyyn. Valaisimien helppo asennus ja huolto tulee myös ottaa huomioon. Kotelointiluokka pitää olla IP 65.

Tärkeimmät valotekniset tekijät tunnelivalaistuksessa ovat:

- Ajoradan seinien alaosan luminanssitaso, jonka vaatimukset ovat 2 m korkeuteen asti alapuolella olevan taulukon mukaiset.

**TAULUKKO 3. Tunneliluokat**

Tunneliluokka	Seinien keskimääräinen luminanssi
4	Sama kuin ajoradalla
3 ja 2	60% ajoradan luminanssista
1	25% ajoradan luminanssista

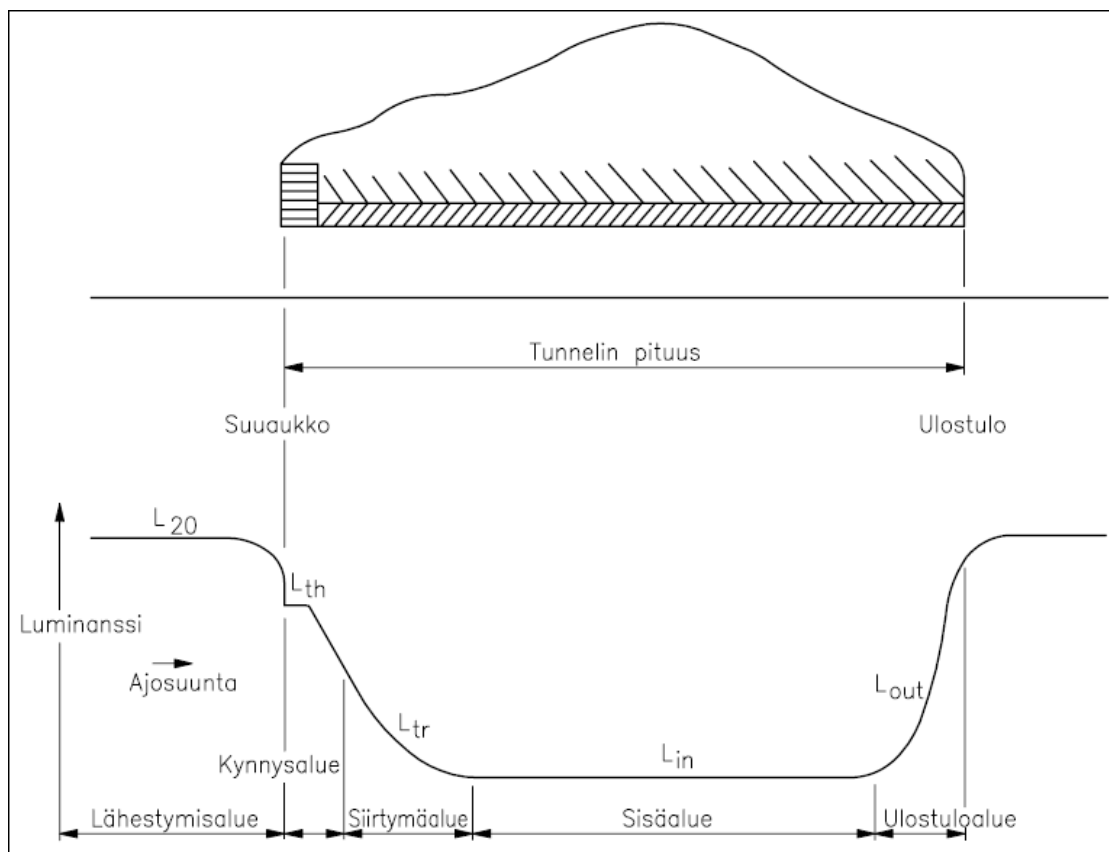
- Luminanssin tasaisuus, jonka on oltava kaikilla alueilla vähintään 0,4 ja pitkittäistasaisuuden vähintään 0,6
- Häikäisyn rajoitus
- Vilkkumisen välttäminen, joka toteutetaan sijoittamalla samanaikaisesti palavat valaisimet sellaiselle etäisyydelle toisistaan, että mitoitusnopeudella ajaessa vaihtelevan luminanssin taajuuksia 4-11Hz. ei esiinny. Vältettävät valaisinvälit alapuolella olevassa taulukossa.[2.]

**TAULUKKO 4. Vältettävät valaisinvälit**

Ajonopeus	Vältettävä valaisinväli	Matkan pituus väh.
120Km/h	3-8m	650m
100Km/h	2,5-7m	550m
80Km/h	2-5,5m	450m

Tunnelivalaistuksessa on kolme eri tilannetta, jotka ovat yövalaistus, päivävalaistus ja turvavalistus [2]. Yövalaistuksessa tunnelissa on käytettävä vähintään samaa valaistusluokkaa kuin vapaalla tieosalla, mutta kuitenkin vähintään puolet sisäosan päivävalaistuksen luminanssivaatimuksesta. Valaistuilla teillä oleva yli 25 m tunneli valaistaan aina öisin. [2.]

Päivävalaistuksessa valaistus on oltava tunneliin tullessa kirkas, koska ihmissilmä tarvitsee valaistustasoeroista riippuvan ajan tultaessa kirkkaasta päivänvalosta tunneliin. Valaistusvoimakkuus tunnelissa pienenee vähitellen  $L_{20}$  käyrän mukaisesti (kuva 18).



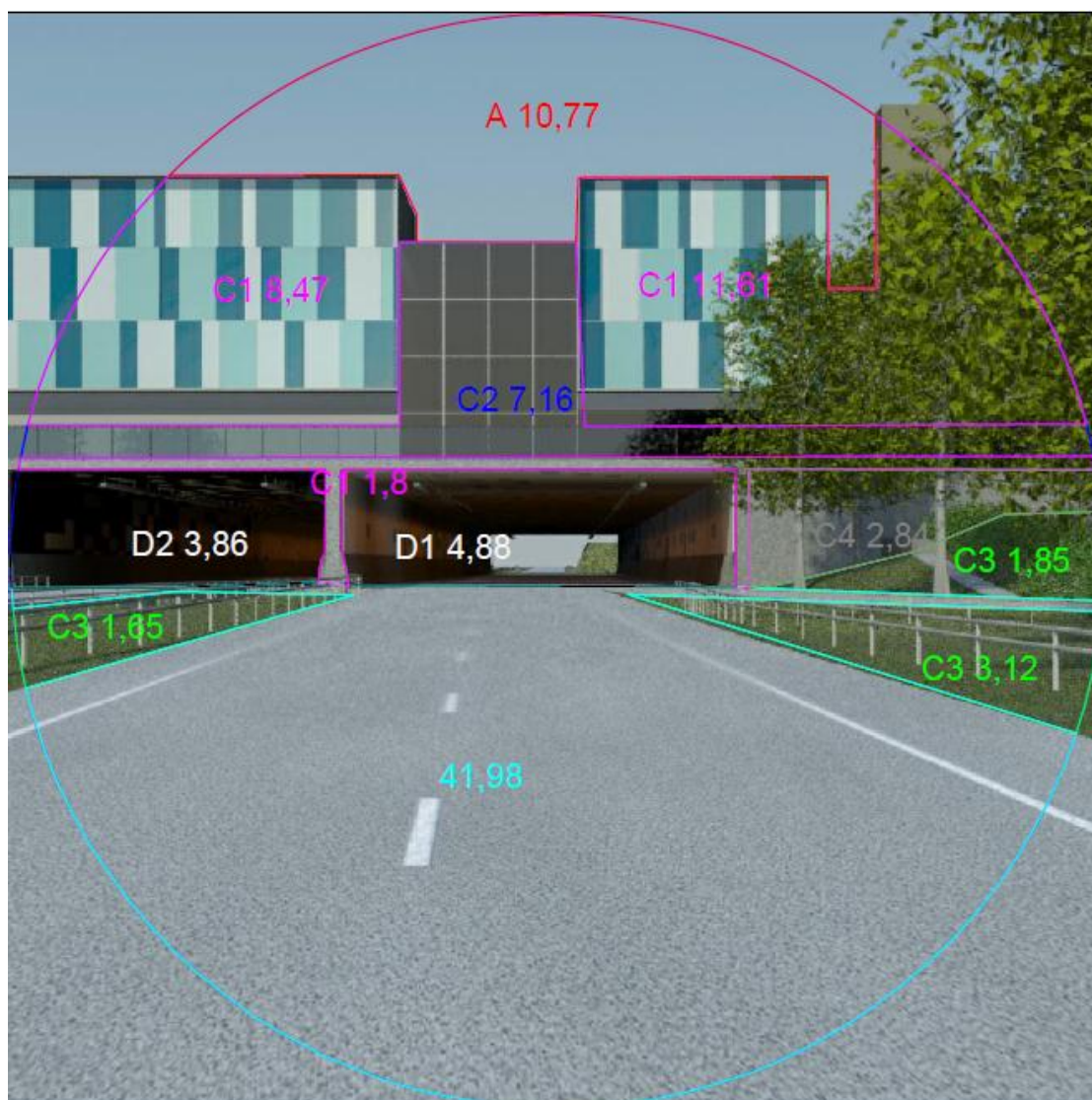
**KUVA 18. Tunnelin luminanssitasot**

Tunnelin alkupään kynnys- ja siirtymäalueen kirkkaamman valaistuksen toteuttamiseksi on sinne asennettava enemmän valaisimia kuin loppupäähän. Alkupään kirkkaus voidaan kuitenkin toteuttaa myös päivänvalolla (ajoradan yläpuolelle asennettavat ritalät). Näiden käyttöä ei kuitenkaan suositella. [2.]

### **Lähestymis- ja kynnysalueen luminanssin määrittäminen**

Yleisillä teillä olevissa tunneleissa määritellään lähestymis- ja kynnysalueen luminanssi  $L_{20}$  menetelmällä, joka lasketaan tai mitataan pysähtymismatkan etäisyydellä olevasta näkökartiosta (kuva 19). Näkökartion etäisyys tunnelin suuaukosta riippuu siis tien nopeusrajoituksesta. Kartiosta katsotaan millaisia pintoja alueella on ja niiden osuus kokonaisalasta. Myös taivaan osuus määritellään.

Yksinkertaistettuna lähestymis- ja kynnysalueen luminansseihin vaikuttavat näkyvän taivaan osuus, sekä tien ja ympäristön pintamateriaalit. [2.]



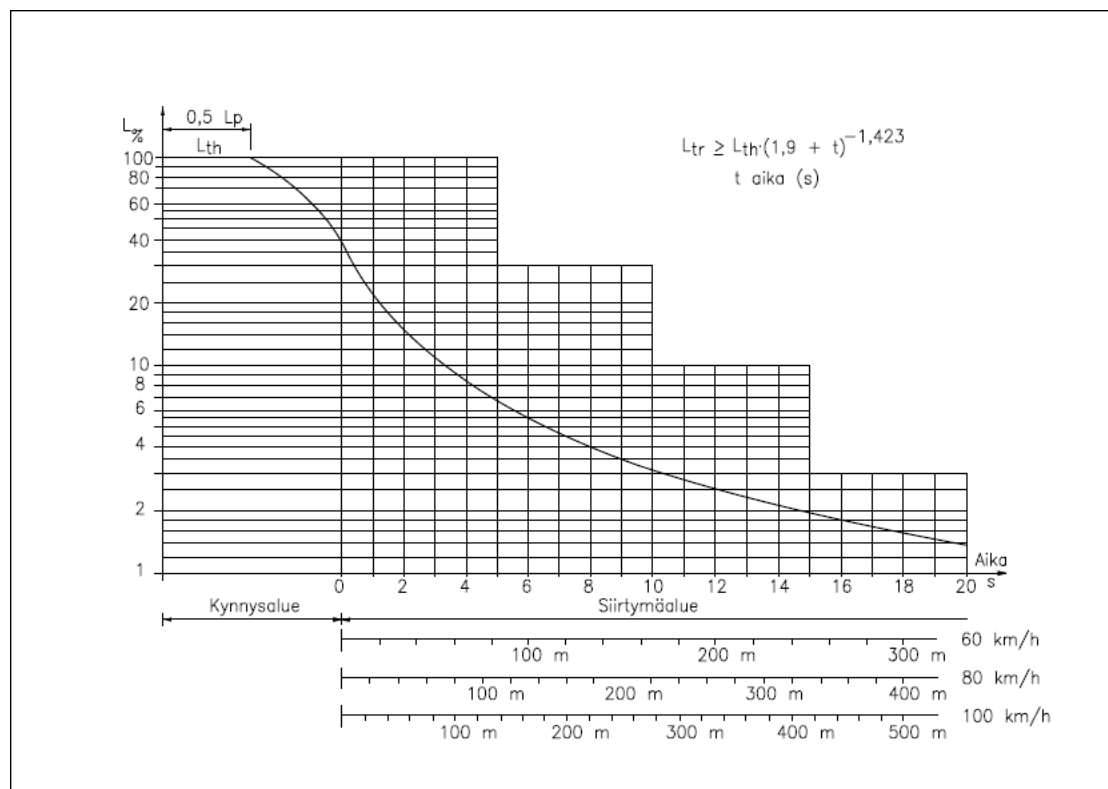
**KUVA 19. Näkökartio**

Lähestymisluminanssia voidaan pienentää tien suuntauksella ja rakennusteknisin keinoin, mm. rajoittamalla päivänvalon pääsyä lähestymisalueelle lisäämällä tummia rakenteita jne.

Kynnysalueen luminanssi  $L_{th}$  lasketaan kertomalla lähestymisalueen luminanssi  $L_{20}$  luminanssikertoimella  $k$ , johon vaikuttaa tunnelin liikennemäärät ja pysähtymismatka.

### Siirtymäalueen luminanssi

Siirtymäalueella luminanssia vähennetään siirtymäalueen luminanssikäyrän mukaisesti niin, että luminanssi ei laske missään vaiheessa käyrän alapuolelle (kuva 20). Siirtymäalue päättyy kohdassa, jossa luminanssi on 1,5-kertainen verrattuna sisäalueen luminanssiin.



**KUVA 20. Luminanssikäyrä**

### Poistumisalueen valaistus

Jos tunneli on valaisemattomalla tiellä ja ajonopeus vähintään 50Km/h ulostulosuaukon jälkeen, tie valaistaan kaksinkertaisen pysähtymismatkan pituudelta, mutta kuitenkin enintään 200m pituudelta.

### $L_{20}$ käyrän toteutus käytännössä

Lähestymisluminanssi vaihtelee ilmaolosuhteiden mukaan, joten on tarpeellista asentaa automaattinen järjestelmä mittaamaan lähestymisalueen luminanssia. Luminanssimittari asennetaan samaan paikkaan josta näkökartio on otettu, eli pysähtymismatkan päähän tunnelin suuaukosta. Käytännöllisyyden takia mittari

sijoitetaan yleensä korkeammalle kuin kuljettajan näkökenttä on. Tämä pitää ottaa huomioon kameran kalibroinnissa.

Tunnelivalaistuksen lopputuloksen laatu tarkastetaan mittaamalla valaistus ja sen jälkeen vertaamalla mitattuja ja laskettuja arvoja. Mitatut arvot eivät saisi heittää yli 10 %.

Järjestelmä ohjaa tunnelin valaistusta ympäristön kirkkauden mukaan, jotta tunnelin kynnys- ja siirtymäalueen luminanssi olisi oikeassa suhteessa lähestymisalueen luminanssiin. Valaistuksen ohjauksessa on 15 min aikaviive. Jotta tunnelin kynnys- ja siirtymäalueen valaistusvoimakkuutta muutetaan, on ympäristön kirkkaudenmuutoksen oltava vaaditun arvon suuruinen sekä kestettävä yhtäjaksoisesti 15 minuuttia ennen kuin automaatiikka muuttaa tunnelin valaistusta. Tällä vältetään valaistuksen ”välkkyminen”.

### **Pysähtymistaskut**

Pysähtymistaskujen vaakatason keskimääräinen valaistusvoimakkuus tulee olla vähintään kolminkertainen viereisen ajoradan arvoon nähden.

### **Turvavalaistus**

Normaalia valaistusta syöttävän järjestelmän pettämisen varalta asennettava turvavalaistus auttaa tunnelin käyttäjiä poistumaan tunnelista turvallisesti. Turvavalaisimet asennetaan tunnelin seinälle max 25m välein 1m korkeudelle. Jos tiellä on yli kaksi kaistaa, on hätävalaisimet asennettava tunnelin molemmille puolille.

### **Poistumistiet**

Poistumisteiden kohdalle on asennettava lippuopastin, merkkivalo, strobovalo, vihreät ovet ja tarroitus (kuva21).





**KUVA 21. Poistumistie**

## **7.7 Työturvallisuus**

Mahdollinen yleinen liikenne aiheuttaa työntekijöille merkittäviä vaaroja tienrakennustyömaalla ja tietunneleiden rakennustyömaalla tarvitaan normaalien työturvallisuuskorttien lisäksi Tieturva 1. kortti ja työnjohdolla täytyy olla Tieturva 2. kortti.

## **8 YHTEENVETO**

Tässä insinööritöössä selvitettiin tunneleiden sähköasennustöitä lähinnä sähköurakoitsijan näkökulmasta. Tarkoituksena oli kertoa yleisesti tunneleiden sähköasennuksista, koska kokemusta niiden tekemisestä Suomessa on vielä varsin

vähän ja monissa projekteissa on esiintynyt paljon erilaisia ongelmia. Työ oli ajankohtainen, sillä tunneleiden rakentaminen Suomessa on kasvanut viime aikoina enenevässä määrin.

Tällaiset projektit ovat pääsääntöisesti hankalampi toteuttaa johtuen haastavista olosuhteista. Projektit voidaan viedä onnistuneesti läpi, jos niiden tarjouslaskenta osataan tehdä oikein ja siinä otetaan huomioon tunneleiden työskentelyolosuhteet. Työmaan projektinhoidolla tulisi myös olla kokemusta tällaisista kohteista tai saatavissa pitäisi olla niistä tarvittavaa tietoa, jotta tällaisten kohteen yleisempiin ongelmiin osattaisiin varautua hyvin etukäteen ja kaikki riskit voitaisiin minimoida.

Työn tekeminen oli haastavaa, koska kirjallisuutta aiheesta oli erittäin vähän. YIT Kiinteistötekniikalta sain kuitenkin apua ja materiaalia, joka auttoi minua työni tekemisessä. Työni oli mielenkiintoinen tehdä ja kävin siitä monien ihmisten kanssa hyviä keskusteluja. Työn tekemisessä saamiani tietoja tulen varmasti itse hyödyntämään työelämässä ja toivon, että niistä on hyötyä myös muille.

## LÄHTEET

1. Liikennevirasto 2008. RATO 18.7 Tekniset järjestelmät. PDF-dokumentti.  
[www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf4/rato\\_18\\_rautatietunnelit\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf4/rato_18_rautatietunnelit_web.pdf). Päivitetty 2.7.2012. Luettu 3.7.2012
2. Liikennevirasto. Tievalaistuksen suunnittelu (TIEH 2100034-06). PDF-dokumentti. [www.alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/2100034-v-06tievalaist\\_suunn.pdf](http://www.alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/2100034-v-06tievalaist_suunn.pdf). Päivitetty 2.7.2012. Luettu 3.7.2012.
3. Metro. Yleiset turvallisuusmääräykset metroradalla.
4. Roxtec. WWW-dokumentti. [www.roxtec.com/fi/asentajan-osio](http://www.roxtec.com/fi/asentajan-osio). Päivitetty 2.7.2012. Luettu 3.7.2012
5. ST 51.78. Sähkölaitteet ja –asennukset kaivoksissa, sekä huolto- ja työtunneleissa. Sähkötieto ry, Espoo.
6. Teknillinen korkeakoulu 2008. Riskien arviointi kaivoksiin ja syviin kalliotiloihin.
7. Tiehallinto 2005. Tietunnelin suunnitteluohje.
8. Tukes. EMC Direktiivin soveltamisopas. PDF-dokumentti.  
[www.tukes.fi/Tiedostot/sahko\\_ja\\_hissit/ohjeet/EMC\\_dir10804\\_sovopas.pdf](http://www.tukes.fi/Tiedostot/sahko_ja_hissit/ohjeet/EMC_dir10804_sovopas.pdf). Päivitetty 2.7.2012. Luettu 3.7.2012
9. Työturvallisuuskeskus. WWW-dokumentti. [www.ttk.fi/tyosuojelu](http://www.ttk.fi/tyosuojelu). Päivitetty 2.7.2012. Luettu 3.7.2012
10. Valtioneuvoston asetus räjäytys- ja louhintatyön turvallisuudesta 16.6.2011/644. WWW-dokumentti.  
[www.edilex.fi/tukes/fi/lainsaadanto/20110644](http://www.edilex.fi/tukes/fi/lainsaadanto/20110644). Päivitetty 2.7.2012. Luettu 3.7.2012
11. Valtioneuvoston päätös räjäytys- ja louhintatyön järjestysohjeista 29.5.1986/410. WWW-dokumentti.  
[www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/kumotut/1986/19860410](http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/kumotut/1986/19860410). Päivitetty 2.7.2012. Luettu 3.7.2012